

Analisis Debit Banjir Rancangan Menggunakan Metode Nakayasu (Studi Kasus Di Perumahan Gauri Akratama)

Gregorius Christian Chandra Wijaya¹, Sunik², Agnes Hanna Patty³
^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang, Indonesia

Alamat: Universitas Katolik Widya Karya Malang – Jl. Bondowoso No 2 Malang

*Korespondensi penulis: 202032005@widyakarya.ac.id

Abstract. Batu City, located in East Java, Indonesia, about 15 km southwest of Malang, is known as a popular tourism city. The rapid development of new tourist destinations has increased the resident population, leading to extensive housing and villa developments. Gauri Akratama Housing in Batu City is one of the residential areas that continues to grow along with the increasing population. As the housing area expands, the growth of impervious surfaces such as roads, sidewalks, and buildings reduces natural rainwater infiltration areas, potentially causing serious drainage problems, including flooding, soil erosion, and groundwater pollution. This study aims to determine the design flood discharge and to analyze the influence of the design discharge on the shape and characteristics of the hydrograph curve for 5 year and 20 year return periods. Design flood discharge calculation was carried out after obtaining the design rainfall using the Polygon Thiessen method and Log Pearson Type III distribution. The resulting design rainfall was tested using the Smirnov–Kolmogorov test. Rainfall values that passed the test were then processed using the Mononobe rainfall intensity method and hourly effective rainfall. The analysis method used was the Nakayasu synthetic unit hydrograph (HSS Nakayasu) to obtain the design flood discharge for the specified return periods. The results show that the design flood discharge in Gauri Akratama Housing, Batu City, for a 5-year return period is 352.88 m³/s, and for a 20-year return period is 417.16 m³/s. The design discharge influences the shape and characteristics of the hydrograph, which exhibits a near-normal distribution with a peak occurring at the second hour, with a peak ordinate of 6.882.

Keywords: Design rainfall, Design flood discharge, Flood return period, Nakayasu synthetic unit hydrograph, Gauri Akratama Housing, Batu City

Abstrak. Kota Batu adalah sebuah kota yang terletak di provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kota ini terletak di dataran tinggi Malang, sekitar 15 kilometer sebelah barat dayadari Kota Malang. Kota Batu dikenal dengan sebutan "Kota Wisata" karena merupakan salah satu tujuan wisata populer di Jawa Timur. Dengan semakin berkembangnya tempat wisata baru di Kota Batu, maka semakin padat juga jumlah penduduk yang tinggal di Kota Batu. Hal ini menyebabkan semakin banyaknya kawasan perumahan dan kompleks villa di Kota Batu. Perumahan Gauri Akratama di Kota Batu adalah salah satu perumahan yang terus berkembang sejalan dengan penduduk yang semakin meningkat. Seiring dengan pertumbuhan perumahan ini, peningkatan permukaan keras seperti jalan, trotoar, dan bangunan rumah telah mengurangi area resapan alami air hujan. Hal ini dapat mengakibatkan masalah drainase yang serius, termasuk banjir, erosi tanah, dan pencemaran air tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui debit banjir rancangan dan pengaruh debit rancangan terhadap bentuk dan karakteristik kurva hidrograf pada kala ulang 5 dan 20 tahun. Perhitungan debit banjir rancangan dilakukan setelah mendapatkan nilai hujan rancangan menggunakan metode polygon Thiessen, Log Pearson Type III. Hasil yang telah diperoleh diuji menggunakan Uji Smirnov-Kolmogorov, nilai hujan rancangan yang lolos pengujian dihitung menggunakan metode intensitas hujan mononobe dan curah hujan efektif jam-jaman. Metode analisis yang digunakan adalah metode hidrograf satuan sintetik (HSS) Nakayasu untuk memperoleh debit banjir periode ulang rencana. Hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan debit banjir di perumahan Gauri Akratama Kota Batu untuk periode ulang 5 tahun = 352,88 m³/detik sedangkan untuk periode ulang 20 tahun = 417,16 m³/detik. Dari hasil penelitian juga didapat pengaruh dari debit rancangan terhadap bentuk dan karakteristik kurva hidrograf yaitu mengalami kurva distribusi normal dengan puncak pada jam ke-2 yaitu sebesar 6,882.

Kata kunci: Curah hujan rencana, Debit banjir rancangan, Kala ulang banjir, Hidrograf satuan sintetik Nakayasu, Perumahan Gauri Akratama Kota Batu

1. LATAR BELAKANG

Kota Batu adalah sebuah kota yang terletak di provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kota ini terletak di dataran tinggi Malang, sekitar 15 kilometer sebelah barat daya dari Kota Malang. Kota Batu dikenal dengan sebutan "Kota Wisata" karena merupakan salah satu tujuan wisata

populer di Jawa Timur. Dengan semakin berkembangnya tempat wisata baru di Kota Batu, maka semakin padat juga jumlah penduduk yang tinggal di Kota Batu. Hal ini menyebabkan semakin banyaknya kawasan perumahan dan kompleks villa di Kota Batu. Perumahan Gauri Akratama di Kota Batu adalah salah satu perumahan yang terus berkembang sejalan dengan penduduk yang semakin meningkat. Seiring dengan pertumbuhan perumahan ini, peningkatan permukaan keras seperti jalan, trotoar, dan bangunan rumah telah mengurangi area resapan alami air hujan. Hal ini dapat mengakibatkan masalah drainase yang serius, termasuk banjir, erosi tanah, dan pencemaran air tanah.

Dampak nyata dari semakin berkembang nya jumlah bangunan di kota batu yaitu terjadinya banjir pada beberapa waktu lalu. Banjir bandang menerjang Kota Batu di Jawa Timur, setelah hujan dengan intensitas tinggi mengguyur wilayah hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas yang berada di lereng Gunung Arjuno, Kamis (4/11), pada pukul 14.00 WIB (BPBD, 2021). Peristiwa tersebut menjadi trending topik pada saat itu dikarenakan termasuk dataran tinggi namun terkena banjir bandang. Oleh sebab itu diperlukan analisis hidrologi di daerah kota batu terutama pada analisis hidrologi di perumahan Gauri Akratama, Kota Batu.

Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, dilakukan survei lapangan berupa wawancara untuk mengumpulkan informasi dan data yang diperlukan, dilakukan juga pengambilan data sekunder dari BMKG Jawa Timur II Karangploso, Kabupaten Malang, lalu dilakukan pengolahan data dari hasil survei lapangan dan data sekunder. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh debit rancangan di kawasan perumahan Gauri Akratama.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Curah Hujan

Curah hujan merupakan turunya sejumlah air di permukaan dataran pada periode tertentu. Negara Indonesia termasuk salah satu negara dengan curah hujan yang bervariasi dikarenakan ketinggian dataran yang berbeda-beda. Hal ini juga menyebabkan diperlukannya penyesuaian pada analisis hidrologinya, salah satu bentuk penyesuaian nya yaitu pada proses analisis penelitian ini yaitu menggunakan metode Nakayasu. Metode Nakayasu dipilih karena metode ini familiar digunakan pada perhitungan analisis Sungai di Jawa Timur, selain itu metode Nakayasu merupakan metode yang sederhana karena hanya membutuhkan hanya 5 variabel saja.

Curah hujan yang digunakan untuk analisis hidrologi menentukan debit banjir rancangan yaitu curah hujan rata-rata pada seluruh daerah yang telah ditentukan, bukan hanya pada daerah

tertentu. Curah hujan tersebut dinamakan dengan curah hujan wilayah dan dinyatakan dengan satuan milimeter (mm). Curah hujan yang digunakan untuk analisis hidrologi juga berdasarkan waktu tertentu yang telah ditentukan.

Menentukan curah hujan rata-rata maksimum daerah dilakukan dari hasil pengamatan pada stasiun hujan tertentu. Perhitungan curah hujan rata-rata maksimum ini dapat menggunakan 3 macam metode yaitu:

1. Metode Rata-rata Aljabar

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana yaitu hanya dengan membagi rata semua tinggi hujan pada masing-masing stasiun hujan dengan jumlah stasiun yang digunakan. Metode ini disarankan digunakan untuk wilayah yang relatif mendatar dan sifat hujan yang relatif homogen (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018).

$$\bar{p} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

dengan:

$\bar{p}$: hujan rata-rata kawasan (hujan wilayah);

x : tinggi curah hujan di stasiun 1,2,3,...,n;

n : jumlah stasiun

(Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018)

2. Metode Poligon Thiesen

Metode ini memperkirakan luas wilayah yang diwakili oleh masing-masing stasiun, tinggi curah hujan dan jumlah stasiun. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Poligon dibuat dengan cara menghubungkan garis-garis berat diagonal terpendek dari stasiun hujan yang digunakan. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun. Metode ini dapat digunakan jika ada setidaknya 3 stasiun hujan yang ditinjau dan koordinat stasiun hujan diketahui (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018).

$$\bar{p} = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + \dots + A_n x_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2)$$

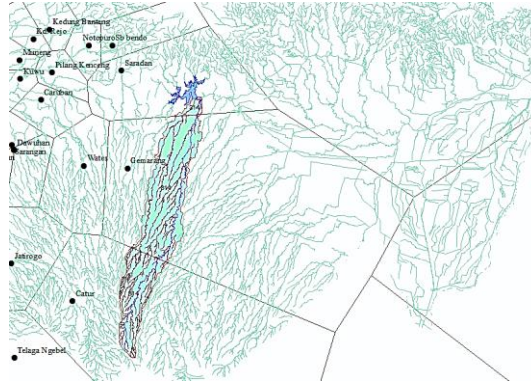
dengan:

$\bar{p}$: hujan rerata kawasan;

x : tinggi curah hujan di stasiun 1,2,3,...,n;

A : luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,3,...,n

(Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018)



Gambar 1. Polygon Thiesen

Sumber: (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018)

3. Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohyet tersebut. Metode isohyet digunakan apabila terdapat banyak stasiun hujan dan diketahui koordinat masing-masing stasiun hujan (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018).

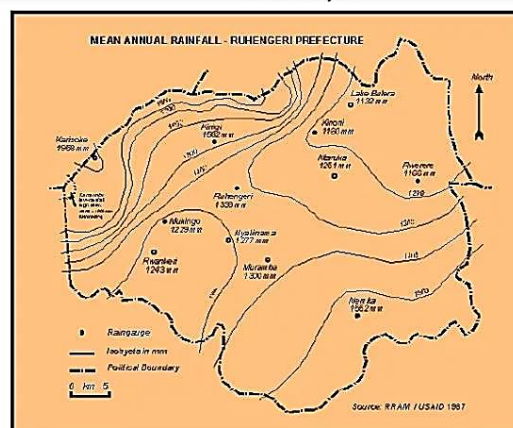
$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_n + (I_{n+1})}{2}}{\sum_{i=1}^n A_n} \quad (3)$$

dengan:

$\bar{p}$: hujan rerata kawasan;

$I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$: garis isohyet ke 1,2,3, ..., n, n+1;

$A_1, A_2, \dots, A_n$: luas daerah yang dibatasi oleh garis isohyet ke 1 dan 2; 2 dan 3; ..., n dan n+1. (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumaan Rakyat (PUPR), 2018)



Keterangan:

- Stasiun Pengukur Hujan
- Garis Isohyet
- - - Batas Wilayah

Gambar 2. Isohyet

Sumber : <https://id.scribd.com/doc/86133352/METODE-ISOHYET>

2.2 Periode Ulang

Periode ulang merupakan waktu yang diperlukan untuk terjadi satu siklus penuh dari peristiwa hujan secara berulang. Peristiwa hujan (RE) didefinisikan sebagai urutan terus-menerus hari hujan dengan akumulasi harian curah hujan lebih dari 0 mm, diikuti oleh setidaknya satu hari kering. (Gariano, Petrucci and Guzzetti, 2015). Durasi dan intensitas kejadian curah hujan memainkan peran penting dalam mempengaruhi generasi runoff dan konektivitas di daerah semi kering, karena periode hujan intensitas tinggi yang lebih lama memungkinkan runoff untuk bepergian lebih jauh dan meningkatkan pelepasan. (S. M. Reaney, L. J. Bracken, 2006). Selain itu, definisi periode hujan lebat persisten (PHR) melibatkan waktu di mana curah hujan mencapai $\geq 20 \text{ mm hr}^{-1}$ hingga saat ada curahan hujan $< 20 \text{ mm hr}^{-1}$ selama setidaknya dua jam berturut-turut. (Xiaogang Huang, Chi Zhang, Jianfang Fei, Xiaoping Cheng, Juli Ding, 2022). Menyesuaikan periode hujan kumulatif umum (DG) dan definisi waktu inter-event (IETD) memungkinkan penyesuaian periode hujan sebelumnya untuk mendapatkan hasil yang diinginkan (Lee et al., 2022). Selain itu, dampak struktur ruang-waktu hujan dalam analisis frekuensi banjir menyoroti keterbatasan "metode desain badai" yang populer dan representasi yang disederhanakan dari struktur hujan. (Zhihua Zhu, Daniel B. Wright, 2018).

Besarnya debit hujan. Besarnya kejadian ekstrim mempunyai hubungan terbalik dengan probabilitas kejadian. Dalam analisis frekuensi, perlu dicari beberapa hal sebagai berikut (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018):

a. Standar deviasi.

Standar deviasi adalah besar perbedaan dari nilai sampel terhadap nilai rata-rata.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

dengan:

S : standar deviasi;

x_i : nilai varian ke i;

$\bar{x}$: nilai rata-rata varian;

n : jumlah data.

b. Koefisien kemencengan/skewness (cs).

Koefisien kemencengan adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (5)$$

dengan:

cs : koefisien skewness,

x_i : nilai varian ke i;

$\bar{x}$: nilai rata-rata varian;

n : jumlah data.

S : simpangan baku.

c. Koefisien kurtosis (ck).

Pengukuran kurtosis dimaksud untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

$$ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{S^4} \quad (6)$$

dengan:

ck : koefisien kurtosis,

x_i : nilai varian ke i;

$\bar{x}$: nilai rata-rata varian;

n : jumlah data.

S : simpangan baku.

2.3 Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana merupakan curah hujan harian maksimum yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu yaitu 5 tahunan, 10 tahunan dan seterusnya (Jarwinda, 2021). Perhitungan hujan periode ulang dengan metode distribusi *Log Pearson III* dipengaruhi oleh nilai k untuk distribusi *Log Pearson III*, seperti yang disajikan dalam Tabel 1. (Bambang Triatmodjo, 2008). Berikut adalah rumus untuk mencari hujan periode ulang dengan Metode Distribusi *Log Pearson III* (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018)

$$X_t = 10^{\log x + Ks} \quad (7)$$

dengan:

X_t : curah hujan periode ulang (mm/hari);

x : nilai hujan maksimum rata-rata (mm/hari);

S : simpangan baku;

Kt : faktor frekuensi (nilai variabel reduksi gauss).

Tabel 1. Tabel nilai K untuk Distribusi Log Pearson

Ca	Probabilitas Terjadi (%)												
	99.00	95.00	90.00	80	50	20	10	4	2	1	0.5	0.2	0.1
	Kala ulang												
	1.01	1.05	1.11	1.25	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
-3.0	-4.05	-2.00	-1.18	-0.42	0.40	0.64	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
-2.9	-4.01	-2.01	-1.20	-0.44	0.39	0.65	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
-2.8	-3.97	-2.01	-1.21	-0.46	0.38	0.67	0.70	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.72
-2.7	-3.93	-2.01	-1.22	-0.48	0.38	0.68	0.72	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
-2.6	-3.89	-2.01	-1.24	-0.50	0.37	0.70	0.75	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
-2.5	-3.85	-2.01	-1.25	-0.52	0.36	0.71	0.77	0.79	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
-2.4	-3.80	-2.01	-1.26	-0.54	0.35	0.73	0.80	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84
-2.3	-3.75	-2.01	-1.27	-0.56	0.34	0.74	0.82	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87
-2.2	-3.71	-2.01	-1.28	-0.57	0.33	0.75	0.84	0.89	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91
-2.1	-3.66	-2.00	-1.29	-0.59	0.32	0.77	0.87	0.92	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95
-2.0	-3.61	-2.00	-1.30	-0.61	0.31	0.78	0.90	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
-1.9	-3.55	-1.99	-1.31	-0.62	0.29	0.79	0.92	1.00	1.02	1.04	1.04	1.05	1.06
-1.8	-3.50	-1.98	-1.32	-0.64	0.28	0.80	0.95	1.04	1.07	1.09	1.10	1.11	1.13
-1.7	-3.44	-1.97	-1.32	-0.66	0.27	0.81	0.97	1.08	1.12	1.14	1.16	1.17	1.20
-1.6	-3.39	-1.96	-1.33	-0.68	0.25	0.82	0.99	1.12	1.17	1.20	1.22	1.24	1.28
-1.5	-3.33	-1.95	-1.33	-0.69	0.24	0.83	1.02	1.16	1.22	1.25	1.28	1.32	1.37
-1.4	-3.27	-1.94	-1.34	-0.71	0.23	0.83	1.04	1.20	1.27	1.32	1.35	1.39	1.47
-1.3	-3.21	-1.93	-1.34	-0.72	0.21	0.84	1.06	1.24	1.32	1.38	1.42	1.47	1.54
-1.2	-3.15	-1.91	-1.34	-0.73	0.20	0.84	1.09	1.28	1.38	1.45	1.50	1.55	1.63
-1.1	-3.09	-1.89	-1.34	-0.75	0.18	0.85	1.11	1.32	1.44	1.52	1.58	1.63	1.71
-1.0	-3.02	-1.88	-1.34	-0.76	0.16	0.85	1.13	1.37	1.49	1.59	1.66	1.72	1.80
-0.9	-2.96	-1.86	-1.34	-0.77	0.15	0.85	1.15	1.41	1.55	1.66	1.75	1.81	1.91
-0.8	-2.89	-1.84	-1.34	-0.78	0.13	0.86	1.17	1.45	1.61	1.73	1.84	1.91	2.04
-0.7	-2.82	-1.82	-1.33	-0.79	0.12	0.86	1.18	1.45	1.66	1.81	1.93	2.01	2.15
-0.6	-2.76	-1.80	-1.33	-0.80	0.10	0.86	1.20	1.53	1.72	1.88	2.02	2.11	2.28
-0.5	-2.69	-1.74	-1.32	-0.81	0.08	0.86	1.22	1.57	1.78	1.95	2.11	2.22	2.40
-0.4	-2.62	-1.75	-1.32	-0.82	0.07	0.86	1.23	1.61	1.83	2.03	2.20	2.33	2.54
-0.3	-2.54	-1.73	-1.31	-0.82	0.05	0.85	1.25	1.64	1.89	2.10	2.29	2.44	2.68
-0.2	-2.47	-1.70	-1.30	-0.83	0.03	0.85	1.26	1.68	1.95	2.19	2.39	2.55	2.81
-0.1	-2.40	-1.67	-1.29	-0.84	0.02	0.85	1.27	1.72	2.00	2.25	2.48	2.63	2.95
0.0	-2.33	-1.65	-1.28	-0.84	0.00	0.84	1.28	1.75	2.05	2.33	2.58	2.77	3.09
0.1	-2.25	-1.62	-1.27	-0.85	-0.02	0.84	1.29	1.79	2.11	2.40	2.67	2.88	3.24
0.2	-2.18	-1.59	-1.26	-0.85	-0.03	0.83	1.30	1.82	2.16	2.47	2.76	3.02	3.38
0.3	-2.10	-1.56	-1.25	-0.85	-0.05	0.82	1.31	1.85	2.21	2.54	2.86	3.11	3.53
0.4	-2.03	-1.52	-1.23	-0.86	-0.07	0.82	1.32	1.88	2.26	2.52	2.95	3.22	3.67
0.5	-1.96	-1.49	-1.22	-0.86	-0.08	0.81	1.32	1.91	2.31	2.63	3.04	3.33	3.82
0.6	-1.88	-1.46	-1.20	-0.86	-0.10	0.80	1.33	1.94	2.36	2.76	3.13	3.44	3.96
0.7	-1.81	-1.42	-1.18	-0.86	-0.12	0.79	1.33	1.97	2.41	2.82	3.23	3.56	4.11
0.8	-1.73	-1.39	-1.17	-0.86	-0.13	0.78	1.34	1.99	2.45	2.89	3.31	3.66	4.25
0.9	-1.66	-1.35	-1.15	-0.85	-0.15	0.77	1.34	2.02	2.50	2.96	3.40	3.77	4.40
1.0	-1.59	-1.32	-1.13	-0.85	-0.16	0.76	1.34	2.04	2.54	3.02	3.49	3.88	4.54
1.1	-1.52	-1.28	-1.11	-0.85	-0.18	0.75	1.34	2.07	2.59	3.09	3.58	3.99	4.68
1.2	-1.45	-1.24	-1.09	-0.84	-0.20	0.73	1.34	2.09	2.63	3.15	3.66	4.10	4.82
1.3	-1.38	-1.21	-1.06	-0.84	-0.21	0.72	1.34	2.11	2.67	3.21	3.75	4.20	4.97
1.4	-1.32	-1.17	-1.04	-0.83	-0.23	0.71	1.34	2.13	2.71	3.27	3.83	4.31	5.11
1.5	-1.26	-1.13	-1.02	-0.83	-0.24	0.69	1.33	2.15	2.74	3.33	3.91	4.41	5.25
1.6	-1.20	-1.09	-0.99	-0.82	-0.25	0.68	1.33	2.16	2.78	3.39	3.99	4.52	5.39
1.7	-1.14	-1.06	-0.97	-0.81	-0.27	0.66	1.32	2.18	2.82	3.44	4.07	4.62	5.53
1.8	-1.09	-1.02	-0.95	-0.80	-0.28	0.64	1.32	2.19	2.85	3.50	4.15	4.71	5.66
1.9	-1.04	-0.98	-0.92	-0.79	-0.29	0.63	1.31	2.21	2.88	3.55	4.22	4.79	5.74
2.0	-0.99	-0.95	-0.90	-0.78	-0.31	0.61	1.30	2.22	2.91	3.61	4.40	4.97	5.91
2.1	-0.95	-0.91	-0.87	-0.77	-0.32	0.59	1.29	2.23	2.94	3.66	4.37	4.89	5.75
2.2	-0.91	-0.88	-0.84	-0.75	-0.33	0.57	1.28	2.24	2.97	3.71	4.44	5.10	6.20
2.3	-0.87	-0.85	-0.82	-0.74	-0.34	0.56	1.27	2.25	3.00	3.75	4.52	5.20	6.34
2.4	-0.83	-0.82	-0.80	-0.73	-0.35	0.54	1.26	2.26	3.02	3.80	4.58	5.29	6.47
2.5	-0.80	-0.79	-0.77	-0.71	-0.36	0.52	1.25	2.26	3.05	3.85	4.65	5.38	6.60
2.6	-0.77	-0.76	-0.75	-0.70	-0.37	0.50	1.24	2.27	3.07	3.89	4.72	5.47	6.74
2.7	-0.74	-0.74	-0.72	-0.68	-0.38	0.48	1.22	2.27	3.09	3.93	4.78	5.56	6.87
2.8	-0.71	-0.71	-0.70	-0.67	-0.38	0.46	1.21	2.28	3.11	3.97	4.85	5.65	7.00
2.9	-0.69	-0.69	-0.68	-0.65	-0.39	0.44	1.20	2.28	3.13	4.01	4.91	5.74	7.13
3.0	-0.67	-0.67	-0.66	-0.64	-0.40	0.42	1.18	2.28	3.15	4.02	4.97	5.83	7.25
	1.01	1.05	1.11	1.25	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00

Sumber: Bambang Triatmodjo, 2008

2.4 Uji Validitas Curah hujan

Untuk memperoleh hujan rancangan maka diperlukan pengujian yang sesuai dengan sifat statistik data yaitu metode Smirnov kolmogor. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018):

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.

$$X_1 = p(x_1);$$

$$X_2 = p(x_2);$$

$$X_3 = p(x_3), \text{ dan seterusnya.}$$

2. Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 = p'(x_1);$$

$$X_2 = p'(x_2);$$

$$X_3 = p'(x_3) \text{ dan seterusnya.}$$

3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih tersebarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum } (P(X_n) - P'(X_n))$$

dimana:

$P(X_n)$ = Peluang Pengamatan

$P'(X_n)$ = Peluang Teoritis

2.5 Intensitas Hujan Jam-jaman

Intensitas curah hujan merupakan ketinggian curah hujan yang terjadi pada pada kurun waktu pada saat terkonsentrasi. Hujan memiliki sifat umum yaitu makin singkat hujan berlangsung maka intensitasnya makin tinggi dan makin besar periode ulangnya, intensitas hujan yang dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek missal nya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan jam-jaman. Intensitas Duration Frekuensi (IDF) dapat digunakan rumus dari Manonobe's (Syarifudin A., 2017). Metode Mononobe dipilih karena data hujan jangka pendek tidak tersedia, dan hanya memiliki data hujan harian.

$$i_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \quad (8)$$

dimana:

i_t = Intensitas hujan pada T_c tertentu (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan sehari 24 jam (mm/hari)

T_c = waktu konsentrasi (jam)

2.6 Curah Hujan Efektif Jam-jaman

Hujan efektif jam-jaman adalah hujan yang terjadi dalam satu jam dan dianggap cukup signifikan untuk berkontribusi terhadap aliran permukaan atau infiltrasi ke dalam tanah. Dalam analisis hidrologi, hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang secara langsung mempengaruhi aliran sungai, atau pengisian air tanah. Hujan efektif biasanya dipisahkan dari

hujan yang hanya menyebabkan penguapan atau penyerapan oleh tanaman. Untuk menghitung hujan periode ulang efektif bisa digunakan rumus sebagai berikut (Kementrian Perumahan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR), 2018):

$$X_{\text{eff}} = X_t \times C \quad (8)$$

dengan:

X_{eff} : curah hujan periode ulang efektif (mm);

X_t : curah hujan periode ulang (mm/hari);

C : koefisien limpasan.

2.7 Unit Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu dikembangkan berdasarkan Sungai di Jepang. HSS Nakayasu juga sering digunakan untuk memperoleh hidrograf banjir rancangan bahkan metode HSS Nakayasu ini sangat familiar untuk menghitung debit banjir rancangan suatu DAS pada Sungai di daerah Jawa Timur. HSS Nakayasu memerlukan beberapa karakteristik parameter DAS yang diamati yaitu:

- 1) Panjang Sungai (L)
- 2) Koefisien Pengaliran (k)
- 3) Parameter (α)
- 4) Luas DAS (A)
- 5) Hujan satuan

Analisa hidrograf banjir metode Nakayasu menggunakan rumus rasional dengan koefisien pengaliran dan konstanta ditetapkan berdasarkan empiris sebagai berikut (Syarifudin A., 2017):

$$Q_p = \frac{CAR_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (9)$$

Rumus (9) di atas telah memperhitungkan koef. pengaliran C, maka hujan efektif yang digunakan untuk penentuan debit banjir adalah hujan sebelum dikurangi dengan phi index, dimana (Syarifudin A., 2017):

Q_p = debit puncak banjir (m³/dt)

C = koefisien pengaliran sangat tergantung kondisi vegetasi DAS

R_o = Curah hujan efektif (mm)

T_p = waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% debit puncak (jam) atau rumusnya $\alpha \times t_g$

Persamaan garis lengkung ke arah naik (*rising limb*) hidrograf satuan Nakayasu adalah (Syarifudin A., 2017):

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (10)$$

dimana:

Q_a = debit sebelum puncak dengan waktu t (m^3/dt)

t = waktu dalam jam, diukur mulai titik 0 sampai $t = T_p$ (waktu konsentrasi)

Pengambilan besarnya t dalam penyelesaian persamaan diukur dari titik nol 0 titik awal hidrograf.

$T_p = t_g + 0,8 t_r$; t_r = satuan durasi hujan; dan t_g tergantung panjang sungai (L)

$L < 15$ km, maka $t_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$

$L > 15$ km, $t_g = 0,4 + 0,058 L$

dimana:

L = panjang alur sungai (km)

t_g = waktu konsentrasi (jam)

$t_r = k \cdot t_g$ (jam)

$k = 0,5 - 1,0$

$T_p = t_g + 0,8 k t_g$

$T_p = t_g (1 + 0,8 k)$

$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g$ (jam)

Perhitungan lengkung hidrograf juga diperlukan untuk menganalisis mulai dari debit sebelum mencapai puncak, waktu debit puncak, lengkungan menurun tahap 1, lengkungan turun tahap 2, lengkungan turun tahap 3 dalam batas pengamatan 24 jam/ 1 (satu) hari. Hasil dari perhitungan hidrograf satuan sintetik diperoleh nilai debit puncak dan digunakan untuk menentukan debit rencana pada jam pengamatan, serta membentuk grafis lengkung hidrograf dengan rumus sebagai berikut:

1) Pada waktu naik :

$$Q_{d0} = Q_p \cdot (t/T_p)^{2,4} \quad (11)$$

Dimana Q_{d0} merupakan debit aliran sebelum mencapai debit puncak (m^3/det)

2) Pada waktu turun:

a) Lengkung turun tahap 1 :

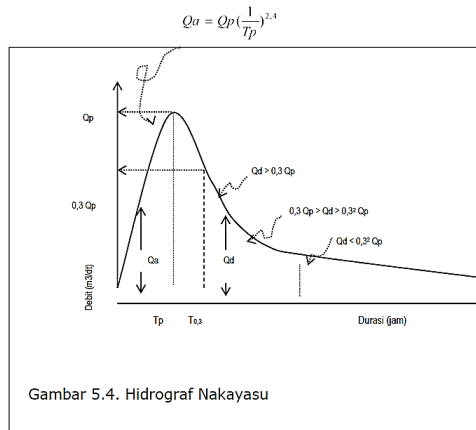
$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3^{((t - T_p)/T_{0,3})} \quad (12)$$

b) Lengkung turun tahap 2 :

$$Q_{d2} = Q_p \cdot 0,3^{(t - T_p + 0,5T_{0,3})/(1,5 \cdot T_{0,3})} \quad (13)$$

c) Lengkung turun tahap 3 :

$$Qd3 = Qp \cdot 0,3^{(t - Tp + 1,5T0,3)/(2 \cdot T0,3)} \quad (14)$$



Gambar 3. Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Sumber: (Syarifudin A., 2017)

Ketika melakukan analisis dengan metode HSS Nakaysu maka diperlukan parameter α (alfa). Nilai parameter α (alfa) adalah karakteristik dari area DAS. Berikut ini merupakan nilai parameter α (alfa) berdasarkan masing-masing karakteristik:

$\alpha = 2$ = Topografi dengan daerah pengaliran biasa hidrograf yang naiknya lambat dan turunya cepat

$\alpha = 1,5$ = Topografi dengan daerah hidrograf yang naiknya lambat dan turunya cepat

$\alpha = 3$ = Topografi dengan daerah hidrograf yang naiknya cepat dan turunya lambat

Keakuratan nilai parameter α (alpha) diharapkan dapat membantu dalam perancangan analisis banjir agar perancangan teknik hidrolis lebih efektif dan efisien.

2.8 Hidrograf Banjir Rencana Satuan Sintetik Nakayasu Berdasarkan Kala Ulang

Analisa hidrograf banjir metode Nakayasu menggunakan rumus rational dengan koefisien pengaliran dan konstanta ditetapkan berdasarkan empiris seperti pada persamaan (9) dan persamaan (10), dengan penjabaran rumus debit puncak Qp (Syarifudin A., 2017):

$$0,3Tp + T_{0,3} = 0,3(tg + 0,8 k.tg) + (\alpha \cdot tg) \quad (15)$$

$$0,3Tp + T_{0,3} = (0,3 + 0,24k + \alpha).tg \quad (16)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan data hujan harian berupa data sekunder (data curah hujan tahun 2007 – 2022), digunakan untuk menganalisis curah hujan rencana dan hidrograf banjir rancangan menggunakan metode Nakayasu.

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yaitu kawasan Perumahan Gauri, Kota Batu. Analisis hidrologi dalam perumahan ini digunakan untuk menentukan debit banjir rancangan sebagai referensi perencanaan sumur resapan..

3.3 Lokasi Perencanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Perumahan Gauri Akritama, Giripurno, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu, Jawa Timur. Batas sebelah utara *Grand Villa* Bumiaji, batas sebelah selatan Taman Dolan, batas sebelah timur jalan Imam Bonjol, batas sebelah barat bumi perkemahan *Naip Place*.



Gambar 4. Perumahan Gauri
Sumber: Google Earth

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan suatu metode yang digunakan peneliti untuk mengumpulkan informasi yang diperlukannya. Data yang digunakan diperoleh melalui:

1. Pengamatan secara langsung di Perumahan Gauri dengan wawancara. Data yang didapat dari hasil pengamatan termasuk ukuran, tata letak, dan kondisi fisiknya.
2. Data sekunder yang didapat berupa perekaman data cuaca dari stasiun hujan Ngaglik, stasiun hujan Tinjumoyo, stasiun hujan Ngujung pada tahun 2007–2022 pada area Perumahan Gauri Akratama Kota Batu yang dapat memengaruhi analisis hidrologi.

3.5 Metode Pengolahan Data

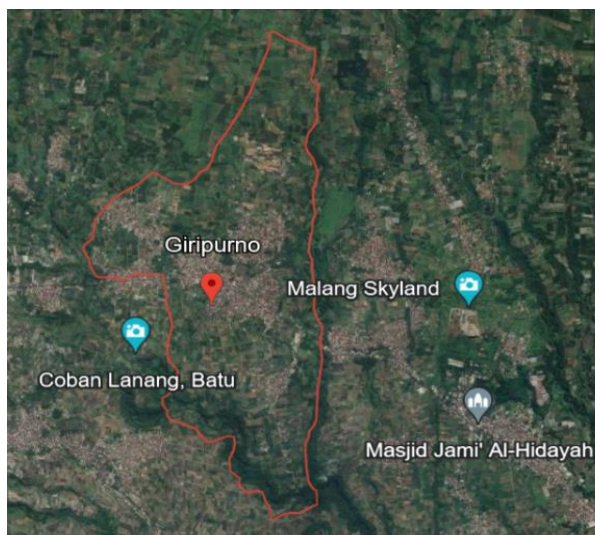
Metode pengolahan data yang dilakukan dari hasil pengumpulan data pengamatan turun lapangan secara langsung, beberapa bentuk pengolahan tersebut meliputi:

1. Gambar kerja siteplan Perumahan Gauri Akratama
2. Curah Hujan
3. Polygon Thiessen => Curah hujan rata-rata
4. Curah hujan rencana
5. Uji validitas Curah hujan
6. Intensitas Hujan Jam-jaman
7. Curah Hujan Efektif Jam-jaman
8. Debit banjir Hidrograf Satuan Sintetik

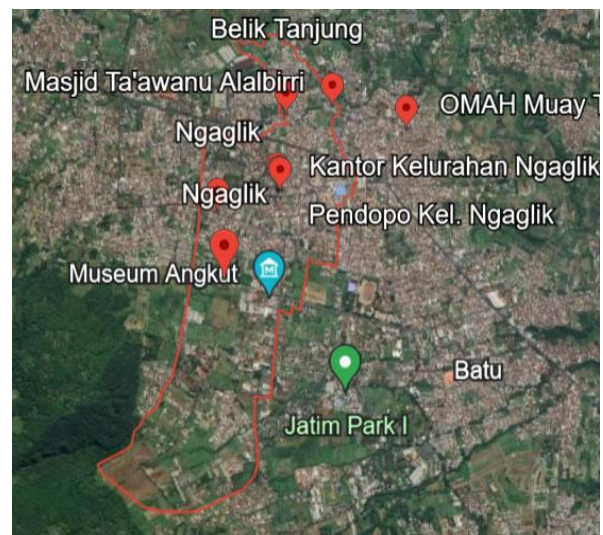
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Curah Hujan

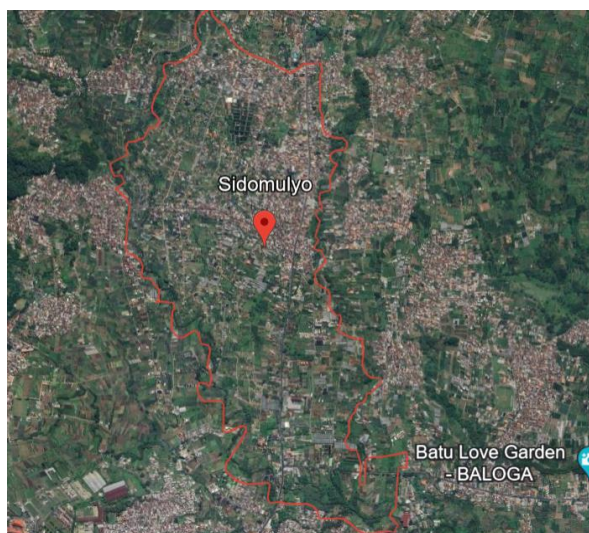
Perhitungan curah hujan menggunakan 2 (dua) macam metode yaitu rata-rata hitung dan polygon Thiessen. Rata-rata hitung menggunakan curah hujan rerata dari 3 (tiga) stasiun. Polygon Thiessen lebih akurat untuk digunakan dalam analisis karena memasukkan pembagian luasan DAS dari peta polygon Thiessen yang masing-masing memuat data 3 titik pos hujan. Data hujan digunakan didalam analisis adalah data hujan harian (pengamatan selama 30-31 hari setiap bulan. Data hujan mulai bulan Januari hingga Desember, sepanjang tahun 2007-2022 (16 tahun, (Badan Pusat Statistik, 2008)). Data luas DAS pos hujan Ngujung dapat dilihat pada Gambar 5, data luas DAS pos hujan Ngaglik dapat dilihat pada Gambar 6, data luas DAS pos hujan Tinjumoyo dapat dilihat pada Gambar 7, peta gabungan dari 3 (tiga) luas DAS pos hujan dapat dilihat pada Gambar 8, peta poligon Thiessen dapat dilihat pada Gambar 9, dan data curah hujan maksimum Polygon Thiessen yang tercatat dapat dilihat pada Tabel 2.



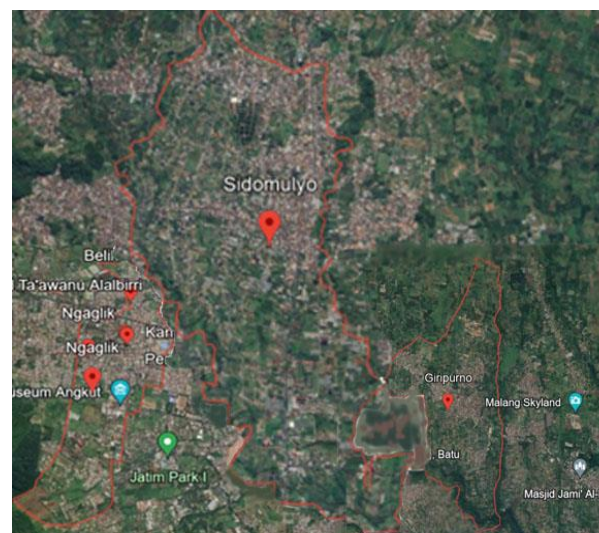
Gambar 5. Batas DAS wilayah Ngujung



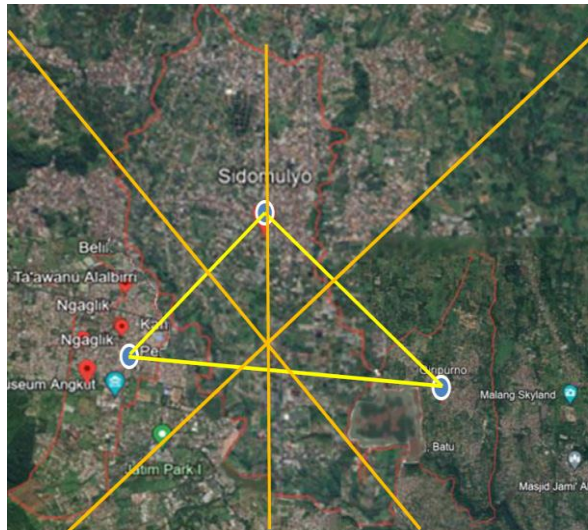
Gambar 6. Batas DAS wilayah Ngaglik



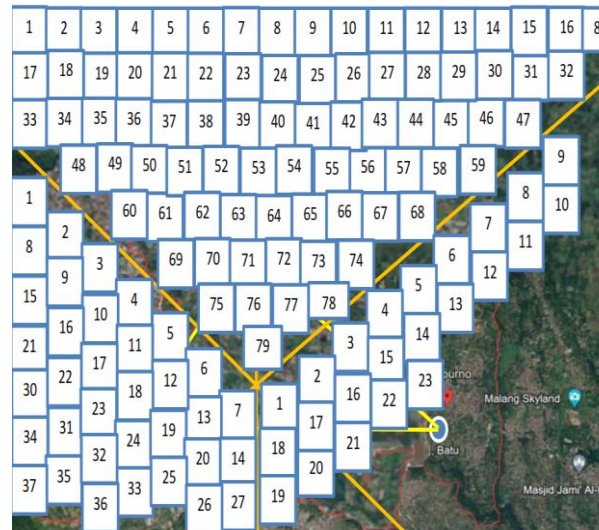
Gambar 7. Batas DAS wilayah Tinjumoyo



Gambar 8. Peta Gabungan Luas DAS



Gambar 9. Peta Polygon Thiessen



Gambar 10. Peta Luas 3 DAS berdasar pembagian Poligon Thiessen

Tabel 2. Curah Hujan Maksimum Poligon Thiesen

Tahun	Stasiun						R maks Thiessen (mm)	R maks rata – hitung
	NGUJUNG (mm)	TINJUMOYO (mm)		NGAGLIK (mm)				
Luas Das	22.96	98.64		37.65		159.3		
Koef. Thiessen	0.144	0.619		0.236				
2007	82.31	11.87	87.06	53.93	91.97	21.74	87.54	87.11
2008	85.26	12.29	90.21	55.88	100.22	23.69	91.86	91.90
2009	85.85	12.38	91.02	56.38	99.94	23.63	92.38	92.27
2010	78.00	11.25	75.00	46.46	103.00	24.35	82.05	85.33
2011	58.00	8.36	76.00	47.07	63.00	14.89	70.33	65.67
2012	91.00	13.12	85.00	52.65	58.00	13.71	79.48	78.00
2013	108.00	15.57	115.00	71.23	110.00	26.01	112.81	111.00
2014	91.00	13.12	93.00	57.60	68.00	16.08	86.80	84.00
2015	80.00	11.53	57.00	35.31	74.00	17.50	64.34	70.33
2016	59.30	8.55	82.00	50.79	55.00	13.00	72.34	65.43
2017	55.50	8.00	75.00	46.46	55.00	13.00	67.46	61.83
2018	85.00	12.25	71.00	43.98	35.00	8.27	64.51	63.67
2019	95.00	13.70	59.00	36.54	76.50	18.09	68.33	76.83
2020	89.50	12.90	77.00	47.69	58.00	13.71	74.31	74.83
2021	59.00	8.51	61.00	37.78	54.00	12.77	59.06	58.00
2022	93.30	13.45	97.80	60.58	88.40	20.90	94.93	93.17

Sumber: BPS kota Batu, 2024

4.1.2 Periode Ulang

Periode Ulang yang digunakan yaitu 5 tahun dan 20 tahun

4.1.3 Curah Hujan Rencana

Data curah hujan didapatkan dari 3 (tiga) stasiun hujan lalu digunakan untuk menghitung curah hujan rencana sesuai dengan periode ulang yang telah ditentukan. Dalam analisis ini digunakan metode perhitungan Log Pearson Type III karena fungsi probabilitas yang dapat dipakai hampir untuk semua distribusi probabilitas empiris. Dalam metode ini terdapat beberapa tahap perhitungan, hasil dari perhitungannya dapat dilihat pada tabel 3. Berikut ini:

Tabel 3. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan Log Pearson Type III

No	R maks (mm)	Peluang (%)	Log x	log x - log x rerata	(log x - log x rerata) ³
1	59	0.059	1.771	-0.121	-0.00179308189
2	65	0.118	1.810	-0.083	-0.00057485591
3	67	0.176	1.829	-0.064	-0.00025859478
4	70	0.235	1.847	-0.046	-0.00009486964
5	72	0.294	1.859	-0.033	-0.00003711126
6	64	0.353	1.808	-0.084	-0.00059925979
7	68	0.412	1.835	-0.058	-0.00019673569
8	74	0.471	1.871	-0.022	-0.00001023067
9	79	0.529	1.900	0.008	0.00000042355
10	87	0.588	1.939	0.046	0.00009587183
11	82	0.647	1.914	0.021	0.00000970940
12	88	0.706	1.942	0.049	0.00012076954
13	92	0.765	1.963	0.070	0.00034866035
14	92	0.824	1.966	0.073	0.00038641913
15	95	0.882	1.977	0.085	0.00060637736
16	113	0.941	2.052	0.160	0.00406423079
Jumlah			30.284	0.000	0.0021
Rerata			1.893	0.000	0.0001
Standar deviasi			0.0765186	0.076518641	0.0012

Pada tahap perhitungan selanjut dilakukan beberapa perhitungan lagi. Nilai K diperoleh dari tabel distribusi Log Pearson Type III, pada proses beberapa data yang belum diketahui maka dilakukan perhitungan interpolasi untuk mendapatkan nilai K. Hasil perhitungan untuk mencari nilai K pada kala ulang 20 tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Perhitungan Hujan Rencana

						R rencana	
Tr	R rerata	Stdev	Kemencengan (Cs)	Peluang	K	log	mm
5	1.893	0.077	0.352	20	0.81984	1.95549	90.26
20	1.893	0.077	0.352	5	1.77304	2.02843	106.76

4.1.4 Uji Validitas Curah Hujan

Metode uji Smirnov Kolmogorov digunakan untuk menguji apakah data curah hujan sesuai dengan distribusi pada daerah bumiaji, Kota Batu terutama pada daerah perumahan Gauri atau tidak untuk analisis lebih lanjut (perhitungan intensitas hujan 24 jam menggunakan metode Mononobe). Perhitungan pada uji smirnov Kolmogorov ini menggunakan data hasil perhitungan log pearson tipe III. Hasil perhitungan dianalisis lebih lanjut dengan perhitungan menentukan selisih maksimal (Dmaks) peluang pengamatan dengan peluang teoritis, lalu dibandingkan dengan nilai Dkritis yang didapat dari tabel nilai kritis untuk uji smirov kolmogorov. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Smirnov Kolmogorov

No	R maks (mm)	Peluang	Log x	log x - log x rerata	log x - log x rerata	K	Px(x)	(P-Px(x))
1	59	0.059	1.771	-0.121	-0.001793	-1.588	0.0562	0.0026
2	65	0.118	1.810	-0.083	-0.000575	-1.087	0.1386	0.0210
3	67	0.176	1.829	-0.064	-0.000259	-0.833	0.2025	-0.0261
4	70	0.235	1.847	-0.046	-0.000095	-0.596	0.2756	-0.0403
5	72	0.294	1.859	-0.033	-0.000037	-0.436	0.3314	-0.0373
6	64	0.353	1.808	-0.084	-0.000599	-1.102	0.1353	0.2177
7	68	0.412	1.835	-0.058	-0.000197	-0.760	0.2236	0.1882
8	74	0.471	1.871	-0.022	-0.000010	-0.284	0.3883	0.0823
9	79	0.529	1.900	0.008	0.000000	0.098	0.5391	-0.0097
10	87	0.588	1.939	0.046	0.000096	0.598	0.7251	0.1369
11	82	0.647	1.914	0.021	0.000010	0.279	0.6098	-0.0373
12	88	0.706	1.942	0.049	0.000121	0.646	0.7409	0.0350
13	92	0.765	1.963	0.070	0.000349	0.920	0.8212	0.0565
14	92	0.824	1.966	0.073	0.000386	0.952	0.8294	0.0059
15	95	0.882	1.977	0.085	0.000606	1.106	0.8657	0.0167
16	113	0.941	2.052	0.160	0.004064	2.086	0.9815	0.0403
Jumlah			30.284	0.000	0.0021	Dmaksimum		0.2177
Rerata			1.893	0.000	0.0001			
Standar deviasi			0.077	0.077	0.00118			
Cs		0.352						

Tabel 6. Rekapitulasi Uji Smirnov Kolmogorov

No	a	Dmaks	Dcritis	Syarat	Keterangan
1	1%	0.2177	0.3910	Dmaks <	terpenuhi
2	5%	0.2177	0.3280	Dmaks <	terpenuhi

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5. dapat diketahui Dmaks = 0,2177, nilai Dkritis didapatkan dari tabel Nilai Kritis Uji Smirnov Kolmogorov. Dengan derajat kepercayaan 1% dan 5% pada jumlah data (n) 16, maka dilakukan perbandingan dengan nilai Dkritis dan dapat diambil Keputusan bahwa distribusi frekuensi curah hujan terpenuhi, karena nilai Dmaks<Dkritis seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6.

4.1.5 Intensitas Hujan Jam-jaman

Perhitungan intensitas hujan pada penelitian ini menggunakan metode Mononobe, yaitu perhitungan dalam 1 hari (24 jam). Waktu genangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 6 jam. Hasil perhitungan intensitas hujan pada tiap jamnya adalah pada Tabel 7. dan Tabel 8.

Tabel 7. Sebaran Hujan Jam - jaman Mononobe

T (jam)	t (jam)	Rt	
1	4	0.630	R24
2	4	0.397	R24
3	4	0.303	R24
4	4	0.250	R24
5	4	0.215	R24
6	4	0.191	R24

Tabel 8. Persentase Curah Hujan

t (jam)	RT	Rt	Persentase %
	0	0	
1	0.630	0.630	63.00
2	0.397	0.164	16.37
3	0.303	0.115	11.49
4	0.250	0.091	9.14
5	0.215	0.077	7.72
6	0.191	0.067	6.75

4.1.6 Curah Hujan Efektif Jam-jaman

Curah hujan efektif jam-jam an merupakan hasil perhitungan dari curah hujan yang terjadi selama waktu genangan 6 jam. Pada perhitungan curah hujan efektif jam-jaman ini juga merupakan prediksi dalam mengetahui curah hujan efektif baik 5 tahun ataupun 20 tahun kedepan, perhitungan ini berhubungan dengan hasil perhitungan hujan rencana pada Log Pearson tipe III. Lalu untuk nilai koefisien pengaliran didapatkan pada tabel koefisien aliran permukaan pada daerah urban, sedangkan nilai prosentase didapatkan dari hasil perhitungan prosentase curah hujan mononobe. Hasil perhitungan untuk menentukan curah hujan efektif jam-jaman, disajikan pada Tabel 9 dan 10.

Tabel 9. Curah Hujan Efektif Jam-jaman Kala Ulang 5 Tahun

No	Jam ke	R 5 (mm)	Koef. Pengaliran	R efektif (mm)	Persentase	R efektif jam-jaman
1	1	90.26	0.75	67.694	0.63	42.645
2	2	90.26	0.75	67.694	0.16	11.084
3	3	90.26	0.75	67.694	0.11	7.775
4	4	90.26	0.75	67.694	0.09	6.190
5	5	90.26	0.75	67.694	0.08	5.227
6	6	90.26	0.75	67.694	0.07	4.569

Tabel 10. Curah Hujan Efektif Jam-jaman Kala Ulang 20 Tahun

No	Jam ke	R 20 (mm)	Koef. Pengaliran	R efektif (mm)	Persentase	R efektif Jam-jaman
1	1	106.76	0.75	80.074	0.63	50.443
2	2	106.76	0.75	80.074	0.16	13.111
3	3	106.76	0.75	80.074	0.11	9.197
4	4	106.76	0.75	80.074	0.09	7.322
5	5	106.76	0.75	80.074	0.08	6.183
6	6	106.76	0.75	80.074	0.07	5.405

4.1.7 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Perhitungan berikutnya merupakan proses perhitungan hidrograf untuk mengetahui debit banjir rancangan, pada perhitungan analisis ini memakai Metode Nakayasu. Metode hidrograf sintetik nakayasu ini umum digunakan karena hanya membutuhkan sedikit variable dan

memudahkan, khususnya bila karakteristik sungai atau DAS yang dimiliki hanya berupa data minim atau sedikit. Karakteristik Sungai atau DAS dapat dilihat pada Tabel 11.

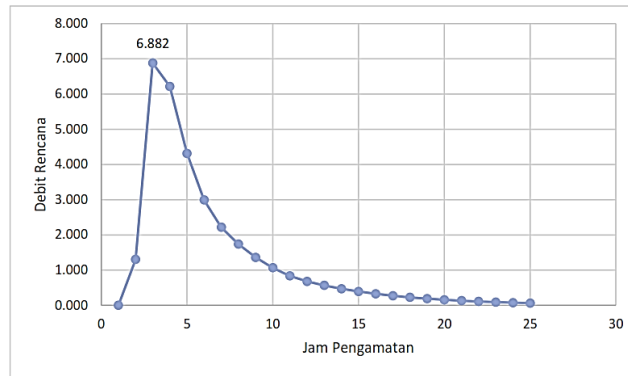
Tabel 11. Karakteristik Sungai

No	Karakteristik	Notasi	Satuan	Nilai
1	Panjang Sungai	L	km	21.5
2	Koef Pengaliran	k		0.75
3	Parameter	a		2
4	Luas DAS	A	km ²	159.25
5	Hujan Satuan	Ro	mm	1

Dari tabel 11 diatas dihitung tenggang waktu antara hujan sampai dengan debit puncak (tg), satuan waktu hujan (Tr), Waktu awal hujan hingga puncak banjir (Tp), penurunan debit dan puncak (T0,3), debit puncak (Qp) lalu dapat ditentukan lengkung naik (Qd0), Lengkung turun tahap 1 (Qd1), lengkung turun tahap 2 (Qd2), lengkung turun tahap 3 (Qd3) dengan hasil perhitungan tersaji pada Tabel 12.

Tabel 12. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

t (jam)	Notasi	Rumus	Qt
0	Qd0	$Q_p \cdot (t/T_p)^{2,4}$	0.000
1			1.304
2			6.882
3	Qd1	$Q_p \cdot 0,3^{((t - T_p)/T_{0,3})}$	6.217
4			4.313
5			2.993
6	Qd2	$Q_p \cdot 0,3^{(t - T_p + 0,5T_{0,3})/(1,5 \cdot T_{0,3})}$	2.216
7			1.736
8			1.361
9			1.067
10			0.836
11	Qd3	$Q_p \cdot 0,3^{(t - T_p + 1,5T_{0,3})/(2 \cdot T_{0,3})}$	0.679
12			0.566
13			0.471
14			0.393
15			0.327
16			0.272
17			0.227
18			0.189
19			0.157
20			0.131
21			0.109
22			0.091
23			0.076
24			0.063



Gambar 11. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Q_{d0} , Q_{d1} , Q_{d2} , Q_{d3})

Setelah dilakukan perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, selanjutnya dilakukan perhitungan banjir rancangan dan penggambaran hidrograf banjir rancangan untuk kala ulang 5 tahun dan 20 tahun. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 13, Tabel 14, dan rekapitulasi hasil debit rencana pada kala ulang 5 tahun dan 20 tahun pada Tabel 15 serta grafiknya dapat dilihat pada gambar 12.

Tabel 13. Hidrograf Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 5 Tahun

T (jam)	Q_t (m^3/dt)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Base Flow (m^3/dt)	Q (m^3/dt)
0	0.0000	42.645	11.084	7.775	6.190	5.227	4.569	1.361	1.36
1	1.3038	55.601	0.000					1.361	56.96
2	6.8816	293.462	14.452	0.000				1.361	309.28
3	6.2165	265.102	76.277	10.138	0.000			1.361	352.88
4	4.3133	183.940	68.906	53.507	8.071	0.000		1.361	315.78
5	2.9928	127.626	47.810	48.336	42.597	6.815	0.000	1.361	274.54
6	2.2156	94.482	33.173	33.537	38.480	35.971	5.957	1.361	242.96
7	1.7364	74.050	24.558	23.270	26.699	32.495	31.443	1.361	213.88
8	1.3609	58.036	19.247	17.227	18.525	22.546	28.404	1.361	165.35
9	1.0666	45.486	15.085	13.501	13.714	15.644	19.708	1.361	124.50
10	0.8360	35.649	11.823	10.582	10.748	11.581	13.674	1.361	95.42
11	0.6792	28.964	9.266	8.293	8.424	9.077	10.123	1.361	75.51
12	0.5658	24.126	7.528	6.500	6.602	7.114	7.934	1.361	61.17
13	0.4713	20.097	6.271	5.281	5.175	5.575	6.218	1.361	49.98
14	0.3925	16.740	5.224	4.399	4.204	4.370	4.874	1.361	41.17
15	0.3270	13.944	4.351	3.664	3.502	3.550	3.820	1.361	34.19
16	0.2724	11.615	3.624	3.052	2.917	2.957	3.103	1.361	28.63
17	0.2269	9.675	3.019	2.542	2.430	2.463	2.585	1.361	24.08
18	0.1890	8.059	2.515	2.118	2.024	2.052	2.153	1.361	20.28
19	0.1574	6.713	2.095	1.764	1.686	1.709	1.794	1.361	17.12
20	0.1311	5.592	1.745	1.469	1.404	1.424	1.494	1.361	14.49
21	0.1092	4.658	1.453	1.224	1.170	1.186	1.244	1.361	12.30
22	0.0910	3.880	1.211	1.020	0.974	0.988	1.037	1.361	10.47
23	0.0758	3.232	1.008	0.849	0.812	0.823	0.863	1.361	8.95
24	0.0631	2.692	0.840	0.707	0.676	0.685	0.719	1.361	7.68
25			0.700	0.589	0.563	0.571	0.599	1.361	4.38
26				0.491	0.469	0.476	0.499	1.361	3.30
27					0.391	0.396	0.416	1.361	2.56
28						0.330	0.346	1.361	2.04
29							0.288	1.361	1.65

Tabel 14. Hidrograf Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 20 Tahun

T (jam)	Qt (m ³ /dt)	R1 50.443	R2 13.111	R3 9.197	R4 7.322	R5 6.183	R6 5.405	Base Flow (m ³ /dt)	Q (m ³ /dt)
0	0.0000	0.000						1.361	1.36
1	1.3038	65.769	0.000					1.361	67.13
2	6.8816	347.128	17.095	0.000				1.361	365.58
3	6.2165	313.581	90.226	11.991	0.000			1.361	417.16
4	4.3133	217.577	81.506	63.291	9.546	0.000		1.361	373.28
5	2.9928	150.965	56.553	57.175	50.386	8.062	0.000	1.361	324.50
6	2.2156	111.760	39.239	39.671	45.517	42.549	7.047	1.361	287.14
7	1.7364	87.592	29.049	27.525	31.582	38.437	37.193	1.361	252.74
8	1.3609	68.650	22.767	20.377	21.913	26.669	33.599	1.361	195.34
9	1.0666	53.804	17.843	15.970	16.222	18.505	23.312	1.361	147.02
10	0.8360	42.169	13.985	12.517	12.714	13.699	16.175	1.361	112.62
11	0.6792	34.261	10.961	9.810	9.965	10.737	11.975	1.361	89.07
12	0.5658	28.538	8.905	7.689	7.810	8.415	9.385	1.361	72.10
13	0.4713	23.772	7.418	6.247	6.121	6.595	7.355	1.361	58.87
14	0.3925	19.801	6.179	5.203	4.973	5.169	5.765	1.361	48.45
15	0.3270	16.494	5.147	4.334	4.142	4.200	4.518	1.361	40.20
16	0.2724	13.739	4.287	3.610	3.451	3.498	3.671	1.361	33.62
17	0.2269	11.444	3.571	3.007	2.874	2.914	3.058	1.361	28.23
18	0.1890	9.533	2.975	2.505	2.394	2.427	2.547	1.361	23.74
19	0.1574	7.941	2.478	2.087	1.994	2.022	2.122	1.361	20.00
20	0.1311	6.614	2.064	1.738	1.661	1.684	1.767	1.361	16.89
21	0.1092	5.510	1.719	1.448	1.384	1.403	1.472	1.361	14.30
22	0.0910	4.589	1.432	1.206	1.153	1.168	1.226	1.361	12.14
23	0.0758	3.823	1.193	1.005	0.960	0.973	1.021	1.361	10.34
24	0.0631	3.184	0.994	0.837	0.800	0.811	0.851	1.361	8.84
25			0.828	0.697	0.666	0.675	0.709	1.361	4.94
26				0.581	0.555	0.563	0.590	1.361	3.65
27					0.462	0.469	0.492	1.361	2.78
28						0.390	0.410	1.361	2.16
29							0.341	1.361	1.70

Tabel 15. Rekapitulasi debit banjir rancangan 5 tahun dan 20 tahun

t			Q5			Q20		
			m ³ /det			m ³ /det		
0	11	21	1.36	75.51	12.3	1.36	89.07	14.3
1	12	22	56.96	61.17	10.47	67.13	72.1	12.14
2	13	23	309.28	49.98	8.95	365.58	58.87	10.34
3	14	24	352.88	41.17	7.68	417.16	48.45	8.84
4	15	25	315.78	34.19	4.38	373.28	40.2	4.94
5	16	26	274.54	28.63	3.3	324.5	33.62	3.65
6	17	27	242.96	24.08	2.56	287.14	28.23	2.78
7	18	28	213.88	20.28	2.04	252.74	23.74	2.16
8	19	29	165.35	17.12	1.65	195.34	20	1.7
9	20		124.5	14.49		147.02	16.89	
10			95.42			112.62		

4.2 Pembahasan

4.2.1 Curah Hujan

Data curah hujan yang diperoleh dari 3 stasiun yaitu stasiun hujan Tinjumoyo, stasiun hujan ngaglik, dan stasiun hujan ngujung didapatkan dari hasil perekaman pada setiap hari, setiap bulannya. Data ini didapatkan dari BMK Jawa Timur II karangploso, Kab. Malang tahun 2007 - 2022. Data curah hujan maksimum terdapat pada tahun 2013, hal ini disebabkan pada tahun 2013 pada pos hujan Ngujung juga terjadi hujan maksimum tepatnya pada bulan desember sebesar = 108,00 mm, lalu pada pos hujan tinjumoyo terjadi juga hujan maksimum pada bulan desember sebesar = 115,00 mm, dan juga pada pos hujan ngaglik terjadi juga hujan maksimum pada bulan desember sebesar = 110 mm. Mulai pada tahun 2010 terjadi penurunan curah hujan pada 3 pos hujan yang diamati berkisar pada bulan juni –September, bahkan ada beberapa pencatatan nya menyatakan nilai 0. Hal tersebut dapat diartikan bahwa terjadi curah hujan yang sedikit sehingga air hujan yang tertampung pada penakar hujan sulit untuk diukur (mendekati angka 0), hal ini dapat juga dikarenakan human error pada saat dilakukan pencatatan di lapangan atau juga dikarenakan memang tidak terjadi hujan. Perhitungan curah hujan pada pos hujan ngujung, tinjumoyo, dan ngaglik diperoleh curah hujan rata-rata maksimum sebesar = 112,81 mm (tahun 2013) dan curah hujan rata-rata minimum sebesar = 59,06 mm (tahun 2021) yang dapat dilihat pada Tabel 2. Curah hujan rata-rata ini diperoleh dari data 16 Tahun.

4.2.2 Periode Ulang

Pada periode ulang 5 tahun maka digunakan peluang 20% dengan kemencengan 0,352 dan menghasilkan nilai K sebesar = 0,81984. Hasil dari perhitungan 3 variabel diperoleh curah hujan rencana sebesar 90,26 mm. Pada periode ulang 20 tahun maka digunakan peluang 5% dengan kemencengan 0,352 dan menghasilkan nilai K sebesar = 1,77304. Hasil dari perhitungan 3 variabel diperoleh curah hujan rencana sebesar 106,76 mm.

4.2.3 Curah Hujan Rencana

Proses perhitungan curah hujan rencana menggunakan Log Pearson Type III yaitu data selama 16 tahun diubah ke dalam bentuk log, kemudian dihitung jumlah hasil bentuk log, rata-rata hasil bentuk log, standar deviasi, dan nilai kemencengan (*skewness*). Nilai kemencengan ini berguna untuk melihat apakah ke-16 data curah hujan tersebut didalam kurva normal, apabila tidak didalam kurva normal maka data perlu dilakukan perbaikan/eliminasi sehingga diperoleh data yang lebih baik untuk ke tahap analisis selanjutnya. Perhitungan curah hujan rencana ini juga memperhatikan periode ulang nya (T_r) yang digunakan yaitu 5 tahun dan 20 tahun. Berdasarkan perhitungan kemencengan dan peluang dicari nilai K yang diperoleh dari

perhitungan interpolasi. Hasil nilai $K = 0,81984$ dan $1,77304$. Lalu dilanjutkan perhitungan curah hujan rencana pada periode ulang dengan hasil $R5 = 90,26$ mm dan $R20 = 106,76$ mm.

4.2.4 Uji Validitas Curah Hujan

Digunakannya metode Uji Smirnov-Kolmogorov untuk mengetahui validitas dari curah hujan yang telah didapat dengan syarat $D_{maksimum} < D_{kritis}$. Data hujan dari 16 tahun dan dari 3 pos hujan menghasilkan $D_{maksimum}$ sebesar $= 0,2177$. Di uji pada tahap kepercayaan $\alpha = 1\%$ dan 5% didapat hasil D_{kritis} sebesar $= 0,3910$ dan $0,3280$. Dari hasil perhitungan tersebut maka dapat dibuktikan bahwa $D_{maksimum} < D_{kritis}$, maka data curah hujan ini sudah memenuhi untuk tahap perhitungan selanjutnya.

4.2.5 Intensitas Hujan Jam-jaman

Perhitungan intensitas hujan jam-jam an menggunakan metode mononobe merupakan perhitungan distribusi hujan yang terjadi pada saat jam ke-n hingga pada jam ke-n+1 selama periode genangan dalam satuan waktu 1 hari (24 jam). Genangan terjadi dimulai pada jam ke-1 yaitu 63%, jam ke-2 = 16,37%, jam ke-3 = 11,49%, jam ke-4 = 9,14%, jam ke-5 = 7,72%, jam ke-6 = 6,75% (surut).

4.2.6 Curah hujan efektif jam-jaman

Perhitungan curah hujan efektif jam-jaman menggunakan hasil dari perhitungan curah hujan rencana, lalu koefisien pengaliran dan intensitas hujan jam-jaman (R_{24}). Semakin besar hasil dari perhitungan curah hujan efektif jam-jaman maka akan mempengaruhi besaran debit banjir rancangan. Hasil dari periode ulang 5 tahun didapat rentang hujan efektif jam-jaman = 4,569 mm - 42,645 mm, lalu pada periode ulang 20 tahun didapat rentang hujan efektif jam-jaman = 5,405 mm – 50,443 mm.

4.2.7 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Perhitungan HSS Nakayasu didukung oleh beberapa variabel yaitu Panjang Sungai (L), koefisien pengaliran (k), parameter lengkung (pengaliran biasa) luas DAS, dan hujan satuan. Dari hasil analisis mendapatkan nilai lengkung naik pada jam ke-1 = $1,304 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hal ini dapat diartikan bahwa dalam jangka waktu 1 jam kenaikan genangan stabil dan tidak langsung mengalami genangan banjir. Hasil ini juga tidak lepas dari hasil analisis data curah hujan dari tahun 2007 – 2022. Pada perhitungan debit banjir rancangan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu diperoleh debit banjir periode ulang 5 tahun = $352,88 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan sebit banjir periode ulang 20 tahun = $417,16 \text{ m}^3/\text{detik}$.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa debit banjir di perumahan Gauri Akratama Kota Batu untuk periode ulang 5 tahun = 352,88 m³/detik sedangkan untuk periode ulang 20 tahun = 417,16 m³/detik. Dari hasil penelitian juga didapat pengaruh dari debit rancangan terhadap bentuk dan karakteristik kurva hidrograf yaitu mengalami kurva distribusi normal dengan puncak pada jam ke-2 yaitu sebesar 6,882. Studi lanjutan pada penelitian ini dapat menjadi landasan untuk menentukan dan mempertimbangkan terkait dimensi dari segi keselamatan, estetika, dan pengaruhnya terhadap lingkungan di perumahan Gauri Akratama.

5.2 Saran

Saran yang dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Perlunya data primer terkait luas DAS sesuai dengan wilayah pos hujan yang diteliti.
2. Pada penelitian lanjutan diperlukan peta kontur untuk dapat menghitung kemiringan saluran sesuai dengan kondisi topografi di perumahan Gauri Akratama.

DAFTAR REFERENSI

- Akbar, R.A. and Bhaskara, A. (2020) 'Analisis Debit Banjir Rancangan Pada Daerah Aliran Sungai Parangjoho Dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik (Hss) Nakayasu Dan Soil Conservation Service (Scs)', Tugas Akhir Thesis, 04(2), pp. 54–61.
- Azzyzah, N. and Puji, W. (2020) 'Analisis Debit Banjir Rancangan Pada Daerah Aliran Sungai Celeng Dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik (Hss) Nakayasu Dan Soil Conservation Service Analysis of Design Flood Discharge in Celeng River Flow Area Using Synthetic Unit Hydrographic Method (', Tugas Akhir Thesis, 04(September), pp. 25–27.
- Badan Pusat Statistik (2008) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2008
- Badan Pusat Statistik (2009) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2009
- Badan Pusat Statistik (2010) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2010
- Badan Pusat Statistik (2011) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2011
- Badan Pusat Statistik (2012) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2012
- Badan Pusat Statistik (2013) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2013
- Badan Pusat Statistik (2014) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2014
- Badan Pusat Statistik (2015) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2015
- Badan Pusat Statistik (2016) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2016
- Badan Pusat Statistik (2017) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2017
- Badan Pusat Statistik (2018) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2018
- Badan Pusat Statistik (2019) 'Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2019

- Badan Pusat Statistik (2020) ‘Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2020
- Badan Pusat Statistik (2021) ‘Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2021
- Badan Pusat Statistik (2022) ‘Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2022
- Badan Pusat Statistik (2023) ‘Badan Pusat Statistik Kota Batu Dalam Angka 2023
- BPBD (2021) ‘Banjir Bandang Kota Batu dan Banjir Kota Malang’. Available at: <https://www.bnpb.go.id/berita/banjir-bandang-kota-batu-dan-banjir-kota-malang-15-orang-hanyut>.
- Cambodia, M., Hasan, M.I. and Novilyansa, E. (2022) ‘Analisis Debit Banjir Rancangan menggunakan Metode HSS Nakayasu di Sungai Tulang Bawang Provinsi Lampung’, Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, 2(1), pp. 92–96. Available at: <https://doi.org/10.24967/psn.v2i1.1489>.
- Damayanti, A.C., Limantara, L.M. and Haribowo, R. (2022) ‘Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS Nakayasu, HSS ITB-1, dan HSS Limantara pada DAS Manikin di Kabupaten Kupang’, Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, 2(2), p. 313. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.02.25>.
- Esa Bagus Nugrahanto, S.S. et al. (2018) ‘Analisis Debit Banjir Rancangan Dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu Di Sub Das Keduang’, Analytical Biochemistry, 11(1), pp. 1–5. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>.
- Gariano, S.L., Petrucci, O. and Guzzetti, F. (2015) ‘Changes in the occurrence of rainfall-induced landslides in Calabria, southern Italy, in the 20th century’, Natural Hazards and Earth System Sciences, 15(10), pp. 2313–2330. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2313-2015>.
- Google earth (2024). Available at: <https://earth.google.com/web/search/Gauri+Akratama,+Giripurno,+Kota+Batu,+Jawa+Timur/@-7.85804231,112.5547823,876.94812281a,235.44303748d,35y,0h,0t,0r/data=CpsBGnESawolMHgyZTc4ODEyNDBmZDJlY2RkOjB4NTA4YzAzZTViZGE0YWUwZURk-lpkttG4fwCEeNuxSfiNcQCowR2F1cmkgQWt>.
- Hidayat, A.R., Ernawati, A. and Ilmi, M.K. (2022) ‘Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu pada Sungai Sokong Kabupaten Lombok Utara’, Seminar Nasional Lppm Ummat, 1(0), pp. 569–574. Available at: <http://journal.ummat.ac.id/index.php/semnaslppm/article/view/9830>.
- Jarwinda (2021) ‘Analisis Curah Hujan Rencana Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel Untuk Wilayah Kabupaten Lampung Selatan’, Journal Of Scienc, Techology, and Virtual Culture, 1(1), pp. 51–54.
- Kementrian Perumahan Umum Dan Perumaan Rakyat (PUPR) (2018) ‘Analisis Hidrologi dan Sedimen’, Modul 3, pp. 1–53.
- Lee, J.J. et al. (2022) ‘Dynamic landslide susceptibility analysis that combines rainfall period, accumulated rainfall, and geospatial information’, Scientific Reports, 12(1), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21795-z>.
- Mariana Anggrieni Nini Manek, P.U. (2019) ‘Analisis Debit Banjir Rancangan Dengan Metode Hss Gama I Dan Aplikasi Hec-Hms 4.2.1 Pada Das Celeng Mariana’,

- Jurnal.Nusaputra.Ac.Id, (01), pp. 56–65. Available at: <https://jurnal.nusaputra.ac.id/rekayasa/uploads/paper/55f5e-5.-analisis-debit-banjir-rancangan-dengan-metode-hss-nakayasu.pdf>.
- Qoirunisa, I. and Putri, N.M. (no date) ‘Analisis debit banjir rancangan dan kapasitas penampang aliran kali opak dengan metode hidrograf satuan sintetik (hss) nakayasu dan software hec-ras’, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Teknologi Yogyakarta, pp. 2–4.
- Reza Afrizaldy, P.U. (2018) ‘Analisis Debit Banjir Rancangan Sungai Gendol Menggunakan Metode Hss Gama I Dan Hss Limantara Reza’, pp. 10–12.
- S. M. Reaney, L. J. Bracken, M.J.K. (2006) ‘Use of the Connectivity of Runoff Model (CRUM) to investigate the influence of storm characteristics on runoff generation and connectivity in semi-arid areas’. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.6281>.
- Sarminingsih, A. (2018) ‘Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan’, Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan, 15(1), p. 53. Available at: <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i1.53-61>.
- Syarifudin A. (2017) ‘Buku Referensi Hidrologi Terapan 2018’, pp. 1–405.
- Xiaogang Huang, Chi Zhang, Jianfang Fei, Xiaoping Cheng, Juli Ding, H.L. (2022) ‘Uplift Mechanism of Coastal Extremely Persistent Heavy Rainfall (EPHR): The Key Role of Low-Level Jets and Ageostrophic Winds in the Boundary Layer’. Available at: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021GL096029>.
- Zhihua Zhu, Daniel B. Wright, G.Y. (2018) ‘The Impact of Rainfall Space-Time Structure in Flood Frequency Analysis’. Available at: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018WR023550>